



## DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

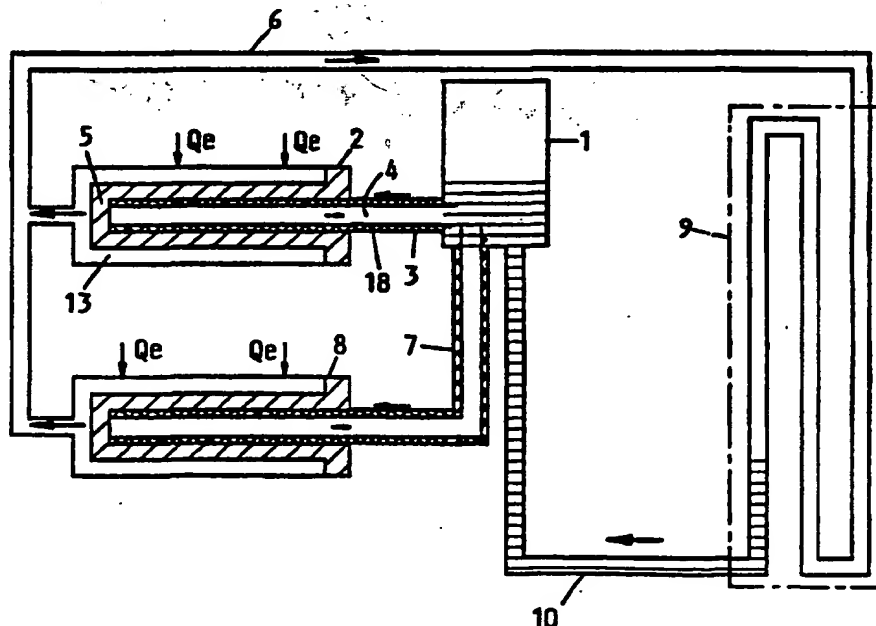
(51) Classification internationale des brevets <sup>6</sup> : <b>F28D 15/04</b>	<b>A1</b>	(11) Numéro de publication internationale: <b>WO 97/00416</b> (43) Date de publication internationale: 3 janvier 1997 (03.01.97)
<p>(21) Numéro de la demande internationale: PCT/BE96/00061</p> <p>(22) Date de dépôt international: 13 juin 1996 (13.06.96)</p> <p>(30) Données relatives à la priorité: 9500530 14 juin 1995 (14.06.95) BE</p> <p>(71) Déposant (pour tous les Etats désignés sauf US): S.A.B.C.A. [BE/BE]; 1470, chaussée de Haecht, B-1130 Bruxelles (BE).</p> <p>(72) Inventeur; et (75) Inventeur/Déposant (US seulement): VAN OOST, Stéphane [BE/BE]; 24, avenue Englebert, B-1331 Rosières (BE).</p> <p>(74) Mandataires: QUINTELIER, Claude etc.; Gevers Patents S.A., Holidaystraat 5, B-1831 Diegem (BE).</p>	<p>(81) Etats désignés: AL, AM, AT, AT (modèle d'utilité), AU, AZ, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CZ, CZ (modèle d'utilité), DE, DE (modèle d'utilité), DK, DK (modèle d'utilité), EE, EE (modèle d'utilité), ES, FI, FI (modèle d'utilité), GB, GE, HU, IL, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SK (modèle d'utilité), TJ, TM, TR, TT, UA, UG, US, UZ, VN, brevet ARIPO (KE, LS, MW, SD, SZ, UG), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, ML, MR, NE, SN, TD, TG).</p> <p>Publiée Avec rapport de recherche internationale.</p>	

(54) Title: CAPILLARY PUMPED HEAT TRANSFER LOOP

(54) Titre: BOUCLE A POMPAGE CAPILLAIRE DE TRANSPORT DE CHALEUR

## (57) Abstract

A capillary pumped heat transfer loop including an evaporator, a condenser and a tank for storing a heat transfer fluid, said evaporator being provided with a porous material for generating capillary pumping pressure within the loop. Said tank and said evaporator are mutually thermally insulated and interconnected via a channel that comprises a first portion consisting of a capillary connection for pumping the heat transfer fluid from the tank to the porous material, and a second portion for conveying gas bubbles and/or steam from the evaporator to the tank, said tank being arranged to be kept at a lower temperature than the evaporator.



(57) Abrégé

Boucle à pompage capillaire de transport de chaleur comprenant un évaporateur, un condenseur et un réservoir agencé pour stocker un fluide caloporteur, ledit évaporateur étant pourvu d'un matériau poreux agencé pour produire une pression capillaire de pompage à l'intérieur de la boucle, ledit réservoir et l'évaporateur étant isolés thermiquement l'un de l'autre et reliés entre eux par une conduite comportant une première partie formée par une liaison capillaire agencée pour pomper le fluide caloporteur du réservoir vers le matériau poreux et une deuxième partie agencée pour évacuer des bulles de gaz et/ou de la vapeur formées dans l'évaporateur vers le réservoir, lequel réservoir étant agencé pour être maintenu à une température inférieure à celle de l'évaporateur.

**UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION**

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publiant des demandes internationales en vertu du PCT.

AT	Arménie	GB	Royaume-Uni	MW	Malawi
AT	Autriche	GE	Géorgie	MX	Mexique
AU	Australie	GN	Guinée	NE	Niger
BB	Barbade	GR	Grèce	NL	Pays-Bas
BE	Belgique	HU	Hongrie	NO	Norvège
BF	Burkina Faso	IE	Irlande	NZ	Nouvelle-Zélande
BG	Bulgarie	IT	Italie	PL	Pologne
BJ	Bénin	JP	Japon	PT	Portugal
BR	Brésil	KE	Kenya	RO	Roumanie
BY	Bélarus	KG	Kirghizistan	RU	Fédération de Russie
CA	Canada	KP	République populaire démocratique de Corée	SD	Soudan
CF	République centrafricaine	KR	République de Corée	SE	Suède
CG	Congo	KZ	Kazakhstan	SG	Singapour
CH	Suisse	LI	Liechtenstein	SI	Slovénie
CI	Côte d'Ivoire	LK	Sri Lanka	SK	Slovaquie
CM	Cameroun	LR	Libéria	SN	Sénégal
CN	Chine	LT	Lituanie	SZ	Swaziland
CS	Tchécoslovaquie	LU	Luxembourg	TD	Tchad
CZ	République tchèque	LV	Lettonie	TG	Togo
DE	Allemagne	MC	Monaco	TJ	Tadjikistan
DK	Danemark	MD	République de Moldova	TT	Trinité-et-Tobago
EE	Estonie	MG	Madagascar	UA	Ukraine
ES	Espagne	ML	Mali	UG	Ouganda
FI	Finlande	MN	Mongolie	US	Etats-Unis d'Amérique
FR	France	MR	Mauritanie	UZ	Ouzbékistan
GA	Gabon			VN	Viet Nam

"Boucle à pompage capillaire de transport de chaleur"

La présente invention concerne une boucle à pompage capillaire de transport de chaleur comprenant au moins un évaporateur, au moins un condenseur et un réservoir agencé pour stocker un fluide caloporteur, ledit évaporateur comprenant une sortie reliée par une ligne de vapeur à une entrée du condenseur, une sortie du condenseur étant reliée au réservoir, ledit évaporateur comprenant un corps évaporateur et étant pourvu d'un matériau poreux agencé pour produire une pression capillaire de pompage à l'intérieur de la boucle et l'exercer sur ledit fluide caloporteur à partir de la surface du matériau en contact avec le corps évaporateur, ledit évaporateur étant également agencé pour faire évaporer le fluide caloporteur par absorption de chaleur.

Une telle boucle à pompage capillaire est connue de la publication "Computer Model of satellite Thermal Control System Using a controlled capillary pumped loop" de K.A. Goncharov, E. Yu Kotlyarov et G.P. Serov paru dans SAE Technical Paper Series n°932306. De telles boucles sont par exemple utilisées dans des satellites et permettent le transfert thermique d'une source de chaleur, par exemple un équipement électronique, vers le condenseur où la chaleur prélevée est dissipée. La boucle n'est bien entendu pas limitée à des applications en apesanteur car elle fonctionne également en présence de la gravité. Le matériau poreux présent dans l'évaporateur comporte un canal axial qui permet d'alimenter en liquide caloporteur le matériau poreux. La saturation en liquide du matériau poreux permet la création d'une pression capillaire. C'est

cette pression capillaire qui va permettre la circulation de la vapeur de l'évaporateur vers le condenseur ainsi que le retour du fluide condensé vers l'évaporateur sans qu'il fasse faire appel à des moyens mécaniques de pompage. La configuration en boucle permet une circulation de l'évaporateur vers le condenseur et ensuite vers le réservoir, qui alimente à son tour l'évaporateur en liquide caloporteur. Le matériau capillaire de l'évaporateur est ainsi alimenté en liquide caloporteur et est donc constamment saturée en liquide. De cette façon le matériau capillaire permet de développer des pressions de pompage capillaire aptes à compenser les pertes de charges dans la boucle. La pression capillaire obtenue avec les matériaux capillaires actuellement connus permet de pomper le fluide caloporteur du condenseur vers l'évaporateur même sur une hauteur de plusieurs mètres sous un champ de pesanteur.

Si, avant la circulation de vapeur, la boucle est au repos avec l'évaporateur au-dessus du condenseur, le fluide caloporteur remplit complètement la ligne liquide, la ligne vapeur et le condenseur, et partiellement l'ensemble évaporateur. Le liquide de la ligne vapeur et du condenseur sera poussé par la vapeur générée par l'évaporateur jusqu'au réservoir. Cette poussé provient d'une différence de pression entre l'évaporateur et le réservoir provoquée par le flux de chaleur externe appliqué à l'évaporateur, lequel flux fait accroître en un premier temps la température de l'évaporateur. Le volume de liquide vis-à-vis du volume de vapeur contenu par le réservoir dépend donc du volume de la vapeur vis-à-vis du volume de liquide que contient la ligne vapeur et le condenseur. Cette boucle à changement de phase et à pompage capillaire est qualifié d'"auto-start", car elle ne requiert aucun dispositif connexe ni procédure spéciale de démarrage. C'est en effet le flux thermique appliqué à l'évaporateur qui provoque le démarrage de la boucle.

Un inconvénient de la boucle connue est que l'évaporateur et le réservoir sont reliés pour former un ensemble indivisible. La température du réservoir est principalement dictée par le flux thermique parasite circulant de l'évaporateur vers le réservoir. La pression qui règne au sein du réservoir dépend de la température et ainsi la pression et la température de vaporisation et de condensation à laquelle se produit le transport de chaleur dans la boucle est égale à la température du réservoir. La température de la source de chaleur n'est ainsi pas suffisamment régulée, car elle dépend du bilan thermique dudit flux parasite et des pertes de chaleur du réservoir vers l'ambiance. La solution appliquée par l'état de la technique réside en un contrôle thermique actif du réservoir via une cellule Peltier qui lie le réservoir à l'évaporateur ou aux autres dispositifs connexes qui permettent de réguler la température du réservoir et ainsi la température de l'ensemble de la boucle de transport de chaleur. Cette solution rend toutefois la boucle plus complexe. De plus si le flux thermique fournit par la source de chaleur est trop faible, la température du réservoir égale celle de la surface de l'évaporateur et il n'y a pas de circulation de vapeur.

L'invention a pour but de remédier à ces inconvénients.

A cette fin une boucle à pompage capillaire de transport de chaleur suivant l'invention est caractérisée en ce que le réservoir et l'évaporateur sont isolés thermiquement l'un de l'autre et reliés entre eux par une conduite comportant une première partie formée par une liaison capillaire agencée pour pomper le fluide caloporteur du réservoir vers le matériau poreux et une deuxième partie agencée pour évacuer des bulles de gaz et/ou de la vapeur formées dans l'évaporateur vers le réservoir, lequel réservoir étant agencé pour être maintenu à une température inférieure à celle de l'évaporateur. L'isola-

tion thermique du réservoir et de l'évaporateur a pour  
conséquence de les découpler thermiquement et de permettre  
ainsi de conditionner le réservoir à une température  
indépendante à celle de l'évaporateur. Le flux thermique  
5 parasite directe de l'évaporateur au réservoir est ainsi  
enrayé. La température du réservoir est ainsi principale-  
ment donnée par la température du liquide provenant du  
condenseur et par la température de l'environnement. Ces  
deux températures sont également stables et basses, le  
10 réservoir et en conséquence le ou les évaporateur(s) sont  
maintenus à une température minimum. Ce résultat est très  
largement souhaité car il permet un échange thermique avec  
un minimum de différence de température entre la source de  
chaleur et le condenseur. La liaison capillaire qui amène  
15 le liquide caloporteur du réservoir vers l'évaporateur  
assure que le matériau poreux de l'évaporateur soit  
toujours suffisamment alimenté en liquide caloporteur et  
donc que la pression de pompage capillaire peut être  
développée pour maintenir la circulation dans la boucle.  
20 La deuxième partie permet quant à elle d'évacuer vers le  
réservoir la vapeur et le gaz non-condensable formé par le  
flux de chaleur parasite qui traverse le matériau capil-  
laire de l'évaporateur. Puisque le réservoir est à une  
température inférieure à celle de l'évaporateur, c'est la  
25 différence de température entre le réservoir et l'évapora-  
teur qui va assurer la circulation du gaz et de la vapeur  
dans ladite deuxième partie vers le réservoir.

Une première forme de réalisation préféren-  
tielle d'une boucle à pompage capillaire de transport de  
30 chaleur suivant l'invention est caractérisée en ce que  
dans ladite conduite qui relie l'évaporateur au réservoir  
la première partie comporte au moins un premier canal et  
la deuxième partie au moins un deuxième canal, le diamètre  
du premier canal étant inférieur à celui du deuxième  
35 canal. Grâce à cette configuration, tout gaz ou vapeur  
dans la deuxième partie ne gêne pas la circulation du

fluide caloporteur du réservoir vers le matériau capillaire de l'évaporateur, car le diamètre inférieur du premier canal permet une plus grande pression de pompage.

Une deuxième forme de réalisation préférentielle d'une boucle à pompage capillaire de transport de chaleur suivant l'invention est caractérisée en ce que la conduite qui relie l'évaporateur au réservoir se prolonge dans l'axe central de l'évaporateur, ledit matériau poreux de l'évaporateur étant coaxialement disposé par rapport à la conduite. Ceci assure une alimentation adéquate du matériau capillaire en liquide caloporteur et permet un fonctionnement de l'évaporateur sur l'ensemble de son enveloppe extérieure.

Une troisième forme de réalisation préférentielle d'une boucle suivant l'invention est caractérisée en ce que le réservoir est connecté thermiquement à au moins un des évaporateurs par une cellule thermoélectrique à effet Peltier agencée pour régulariser la température du réservoir. Cette configuration permet de faire varier la différence de température entre le réservoir et l'évaporateur, tout en gardant la température du réservoir inférieure à celle de la boucle, et d'influencer ainsi la circulation dans la boucle. Cette configuration permet également le contrôle actif de la température du réservoir et en conséquence de la température de vaporisation et de condensation de la boucle. Cette forme de réalisation a l'avantage d'utiliser un évaporateur comme source froide du réservoir plutôt qu'un dispositif annexe de transport de chaleur.

De préférence elle comporte un évaporateur auxiliaire relié à une ligne de fluide sortant du condenseur. Cette configuration a l'avantage d'éviter un lien capillaire entre l'évaporateur auxiliaire et le réservoir. La performance du lien capillaire ne limite plus ainsi celle des évaporateurs auxiliaires. De ce fait les distances entre l'évaporateur et le réservoir ne sont plus

limitées. La ligne de retour du fluide condensé en provenance du condenseur assure ainsi la circulation de la vapeur et du gaz non-condensable. Ces derniers seront transportés vers le réservoir grâce à la circulation existante dans la boucle.

Suivant une autre forme préférentielle de réalisation de la boucle suivant l'invention ledit évaporateur auxiliaire est relié à la ligne de fluide par une liaison capillaire. L'évaporateur auxiliaire fonctionne ainsi de la même façon par rapport à la ligne de fluide que celle dont fonctionne l'évaporateur par rapport au réservoir.

De préférence l'extrémité de la liaison capillaire en contact avec la ligne de fluide est thermiquement reliée à l'évaporateur auxiliaire par une cellule thermoélectrique à effet Peltier agencée pour refroidir la ligne par rapport à l'évaporateur auxiliaire. Une régulation de température de la ligne de fluide devient ainsi possible.

L'invention sera maintenant décrite plus en détail à l'aide d'exemples de réalisation d'une boucle à pompage capillaire de transport de chaleur repris dans les figures où:

La figure 1 illustre schématiquement un premier exemple de réalisation d'une boucle suivant l'invention;

La figure 2 illustre une coupe longitudinale de la surface du matériau capillaire;

La figure 3 a respectivement b et c montre une vue en coupe longitudinale respectivement transversale de la liaison capillaire qui relie l'évaporateur au réservoir;

La figure 4 illustre schématiquement le fonctionnement de l'évaporateur;

Les figures 5 et 6 représentent un diagramme de pression respectivement de température;



La figure 7 illustre schématiquement un deuxième exemple de réalisation d'une boucle suivant l'invention, et

La figure 8 illustre schématiquement une boucle suivant l'invention pourvue d'une cellule Peltier.

Dans les figures une même référence a été attribuée à un même élément ou à un élément analogue.

La figure 1 illustre schématiquement un premier exemple de réalisation d'une boucle à pompage capillaire de transport de chaleur. Cette boucle comporte un réservoir 1 dans lequel est stocké un liquide caloporteur. Le réservoir 1 est thermiquement isolé d'un évaporateur 2. Ceci permet de maintenir le réservoir à une température inférieure à celle de l'évaporateur comme in sera décrit ci-dessous. La liaison entre le réservoir 1 et l'évaporateur 2 est assurée par une conduite 3 qui comporte une première partie 18 formée par une liaison capillaire et une deuxième partie 4 formée par un canal axial.

L'évaporateur 2 comporte un matériau capillaire poreux 5 agencé pour produire une pression capillaire au sein de l'évaporateur. Une sortie de l'évaporateur est reliée par une ligne de vapeur 6 à une entrée d'un condenseur 9. Une sortie du condenseur est reliée par une ligne 10 pour le fluide qui ramène le fluide sous forme de liquide condensé dans le condenseur vers le réservoir fermant ainsi la boucle. Le cas échéant la ligne de fluide peut également directement être reliée à l'évaporateur. La boucle peut contenir un ou plusieurs évaporateurs. Dans l'exemple repris à la figure 1 la boucle comporte un deuxième évaporateur 8 relié par une conduite 7 à une sortie du réservoir 1. Le deuxième évaporateur 8 est également thermiquement dissocié du réservoir.

Le fonctionnement de l'évaporateur sera décrit à l'aide de la figure 2. L'évaporateur 2 comporte un corps 13 évaporateur qui forme l'enveloppe externe de

ce dernier. Le corps évaporateur est en contact avec le matériau capillaire 5 qui est disposé coaxialement par rapport à l'axe central de l'évaporateur. Le matériau capillaire 5 contient du liquide caloporteur en provenance du réservoir. Le matériau capillaire 5 est pourvu de rainures 12 collectrices de vapeurs à l'interface entre ce matériau et le corps évaporateur 13. Les rainures 12 sont en contact avec la ligne de vapeur 6 pour permettre l'évacuation de la vapeur formée dans l'évaporateur vers la ligne de vapeur.

Lorsque le corps évaporateur 13 est soumis à un flux de chaleur  $Q_e$  provenant d'une source externe comme par exemple un appareil électronique, la chaleur  $Q_e$  fait évaporer le liquide caloporteur contenu dans le matériau capillaire 5. La vapeur 15 ainsi produite va se dégager vers les rainures 12 collectrices de vapeur pour ensuite pénétrer dans la ligne de vapeur 6. Dans l'évaporateur se trouve donc aussi bien du liquide que de la vapeur produisant une interface 17 liquide/vapeur à la surface du matériau capillaire poreux en contact avec le corps évaporateur. Cette interface liquide/vapeur présente un rayon de courbure. La valeur du rayon de courbure du ménisque liquide contenu entre les particules 16 de matière solide du matériau poreux fait naître par la tension superficielle du liquide caloporteur la pression capillaire  $P_e - P_p$ . Cette pression  $P_e - P_p$  est illustrée à la figure 5 qui représente un diagramme de pression. Cette pression de pompage capillaire est exercée sur le fluide caloporteur. Le liquide est en dépression dans le matériau poreux au niveau de l'interface 17, ce qui provoque une succion du liquide en amont du matériau poreux. La vapeur est en surpression par rapport au liquide et va donc diriger ce dernier à partir de l'interface 17 vers la ligne de vapeur. La pression capillaire répond à l'équation suivante:

$$\Delta P = \frac{2\sigma l}{R}$$

avec  $\sigma l$  = tension superficielle du liquide caloporteur.

5           R = rayon de courbure du ménisque liquide à  
            l'interface liquide/vapeur

10           A l'aide de la pression capillaire une circulation du fluide caloporteur est produite dans le matériau capillaire et dans l'ensemble de la boucle. Cette pression est telle qu'elle peut vaincre l'ensemble des pertes de charges dans la boucle pour autant que le matériau capillaire reste alimenté en liquide.

15           Pour maintenir la pression capillaire dans la boucle il est donc nécessaire d'alimenter l'évaporateur en liquide caloporteur afin que le liquide évaporé soit remplacé par du liquide en provenance du réservoir. Comme mentionné au préalable le réservoir est relié à l'évaporateur par la conduite 3, dont une vue en coupe est illustrée à la figure 3c. Les figures 3 a + b illustrant une  
20           vue en coupe à travers l'évaporateur. La conduite comporte une première partie 18 formée par une liaison capillaire dont la structure est comparable à celle du matériau capillaire 5 présent dans l'évaporateur mais dont la perméabilité et la dimension des pores du matériau capillaire est supérieure à celle du matériau poreux 5. Le  
25           matériau poreux 5 et le matériau capillaire sont de préférence disposés coaxialement par rapport au canal 4. Un canal axial 4 et le lien capillaire 18 qui se prolongent dans l'axe central de l'évaporateur. Le matériau  
30           capillaire 18 rejoint le matériau poreux 5 de l'évaporateur. Ainsi le fluide caloporteur contenu dans le réservoir 1 circule par capillarité dans la liaison capillaire 18 pour atteindre le matériau poreux 5 de l'évaporateur. La continuité entre la liaison capillaire et le matériau  
35           poreux assure une alimentation en liquide caloporteur sur toute la longueur de la liaison.

La première partie de la conduite 3 comporte au moins un premier canal formé entre les particules de matière solide du matériau capillaire 18. La deuxième partie 4 comporte au moins un deuxième canal. Le diamètre d1 du premier canal étant inférieur à celui d2 du deuxième canal pour permettre une plus grande pression capillaire dans le premier canal et donc assurer l'apport de liquide vers l'évaporateur.

Le fait que le réservoir 1 soit thermiquement isolé de l'évaporateur n'empêche pas la circulation du fluide vers l'évaporateur. En effet c'est la pression capillaire produite par le matériau poreux 5 alimenté en liquide par le matériau 18 qui assure la circulation dans la boucle. L'isolation du réservoir par rapport à l'évaporateur permet de maintenir le réservoir à une température  $T_A$  inférieure à celle de  $T_F$  de l'évaporateur comme illustré à la figure 6. Le réservoir étant en liaison avec le condenseur il reçoit le fluide condensé qui est à une température  $T_i$  lorsqu'il quitte le condenseur. Il faut dans ce contexte noter qu'une différence de température entre le réservoir et le matériau poreux de l'évaporateur a déjà été suggéré dans l'article cité dans le préambule. Toutefois rien dans cet article suggère de séparer le réservoir et l'évaporateur qui doivent selon l'article rester indivisible. L'isolation thermique entre réservoir et évaporateur permettant la différence de température entre les deux a une influence positive sur le fonctionnement de la boucle qui sera décrit ci-dessous.

La température inférieure du réservoir par rapport à l'évaporateur permet également de stocker dans le réservoir une large quantité de gaz non-condensable. Une grande quantité de gaz non-condensable produit après plusieurs années de fonctionnement de la boucle, génère une pression partielle importante. Dans ce cas l'augmentation de la pression partielle devra être compensée par une diminution de la pression partielle du fluide caloporteur.

Cette dernière peut être obtenue par une diminution de la température du réservoir par rapport à celle de l'évaporateur.

Le flux de chaleur externe  $Q_e$  va non seulement provoquer l'évaporation du liquide caloporteur à l'interface liquide/vapeur 17 mais également une production de vapeur au niveau de la conduite 4 à l'autre interface entre la première et la deuxième partie de la conduite à hauteur de son prolongement dans l'évaporateur.

Le flux de chaleur  $Q_g$  provoque également un flux de chaleur  $Q_p$  parasite qui traverse le matériau capillaire 5 de l'évaporateur et fait évaporer le liquide caloporteur présent dans la liaison capillaire 18 reliant le réservoir et l'évaporateur et plus particulièrement dans l'évaporateur. Ceci est schématiquement illustré à la figure 4. La présence d'un matériau capillaire 18 dans la conduite 3 au sein de l'évaporateur va provoquer une pression capillaire  $P_c - P_g$  (figure 5) sur la vapeur produite par  $Q_p$  dans l'évaporateur. La température  $T_A$  du réservoir étant inférieure à celle  $T_c$  au niveau de la deuxième partie de la conduite un caloduc va se former entre l'évaporateur et le réservoir.

Le lien capillaire 18 va fonctionner en caloduc si  $T_c$  atteint une température égale ou supérieure à la température de saturation. Dans le cas contraire le canal 4 de l'évaporateur est rempli de liquide et il n'y a pas de risque d'assèchement du matériau capillaire. Si du gaz non condensable est dissout dans le fluide véhiculé par le lien capillaire, des bulles de gaz non condensables ressortent du liquide par l'apport de chaleur parasitaire  $Q_p$ . La vapeur saturée produit au niveau du lien capillaire à une température  $T_c$  supérieure à celle  $T_A$  du réservoir. Il s'en suit que la pression  $P_c$  est supérieure à  $P_A$  au niveau du réservoir. Cette différence de pression de saturation va provoquer le transport de la vapeur et du gaz non condensable de l'évaporateur vers le réservoir via le

canal 4 formé par la deuxième partie de la conduite 3. La vapeur se condense au contact du fluide plus froid présent dans le réservoir 1. Le gaz non condensable est transporté vers le réservoir par la vapeur. Les bulles de gaz s'échappent alors vers le haut du réservoir laissé libre par le liquide.

L'assèchement du lien capillaire est provoqué à la fois par le flux de chaleur parasite  $Q_p$  et le flux  $Q_E - Q_p$ . Cet assèchement fait naître des pressions capillaires de pompage qui provoquent une dépression du liquide dans le lien capillaire 18 et une surpression du gaz et de la vapeur dans le canal 4 par rapport au réservoir 1 ( $P_B < P_A$ ). Cette différence de pression provoque alors un pompage par le lien capillaire 18 du fluide à partir du réservoir vers l'évaporateur. C'est donc grâce au fait que la température du réservoir est inférieure à celle de l'évaporateur que le gaz non condensable et la vapeur produite par  $Q_p$  est transporté vers le réservoir.

Pour permettre la circulation du fluide dans la boucle il faut que la pression  $P_B$  à l'entrée de l'évaporateur soit inférieure à la pression  $P_E$  de sortie de l'évaporateur. C'est le matériau poreux 5 qui permet de soutenir cette différence de pression grâce à la pression capillaire qu'il peut générer. Comme la pression  $P_A$  au réservoir est dictée par la température  $T_A$  et que la pression  $P_E$  à l'évaporateur est dictée par sa température  $T_E$  suivant la courbe de saturation du fluide caloporteur, c'est grâce au fait que la température du réservoir est inférieure à celle de l'évaporateur que la circulation du fluide dans la boucle peut se réaliser.

Le flux de gaz et de vapeur dans le canal 4 à contre-courant n'empêche pas la circulation du fluide vers l'évaporateur dû à la présence du lien capillaire 18.

La configuration du lien capillaire 18 est de préférence celle décrit dans le brevet belge n°903187.

Cette configuration a l'avantage de dégager les bulles de gaz vers le centre du canal.

Dans les figures 5 et 6 les autres valeurs de température et de pressions ne seront pas décrits plus en détail car elles représentent des valeurs connus d'une boucle à pompage capillaire de transport de chaleur. Toutefois par souci de clarté les différents points dans la boucle seront nommés:

F: sortie de l'évaporateur

$P_E - P_F$ : perte de charge au niveau de l'évaporateur

G: entrée du condenseur

$P_F - P_G$ : perte de charge dans la ligne de vapeur

H: limite de condensation de la vapeur dans le condenseur

I: sortie du condenseur

$T_H - T_I$ : baisse de température due à un sous-refroidissement

K: entrée du réservoir

$T_K - T_I$ : augmentation de température dans la ligne du fluide vers le réservoir

$P_I - P_A$ : chute de pression dans la ligne du fluide

$T_J - T_I$ : diminution de température dans la ligne du fluide vers le réservoir

Le point J dans la figure 6 représente une situation où le fluide a encore été refroidi davantage avant de rentrer dans le réservoir. Comme illustré à la figure 7 un évaporateur auxiliaire est relié à la ligne de fluide qui relie le condenseur 9 au réservoir 1. Tout comme l'évaporateur 2, l'évaporateur auxiliaire 21 peut être relié à la ligne de fluide par un lien capillaire. Il est également possible de monter l'évaporateur auxiliaire 21 sur la ligne 10 de fluide de telle façon que le fluide traverse l'évaporateur auxiliaire.

Le fluide caloporteur qui quitte le condenseur et circule dans la ligne de fluide 10 est plus froid que celui qui se trouve au points 22 et 23 dans l'évaporateur auxiliaire 21. Ainsi le lien capillaire de l'évaporateur

teur auxiliaire fonctionne en caloduc de façon similaire à l'évaporateur 2. Les bulles de vapeur sont condensées dans la linge 10 et celles de gaz non condensables sont entraînées par la circulation du liquide vers le réservoir. Cette configuration a l'avantage d'éviter un lien capillaire entre l'évaporateur auxiliaire et le réservoir sans pour autant limiter la performance de l'évaporateur auxiliaire. De ce fait la distance entre réservoir et évaporateur n'est pas limitée.

La figure 8 présente un exemple préférentiel d'un boucle à pompage capillaire de transport de chaleur selon l'invention. La configuration de l'ensemble évaporateur et réservoir comparée à la figure 1 est plus particulièrement dédiée à des applications de transport de chaleur en apesanteur pour les engins spatiaux.

L'ensemble évaporateur comporte, suivant l'exemple, trois évaporateurs 2, 31 et 32 branchés en parallèle. Les liens capillaires 3 garantissent suivant l'invention l'alimentation en liquide caloporteur du réservoir 1 aux évaporateurs. Lors des test au sol, l'alimentation en liquide caloporteur de l'évaporateur B localisé légèrement au-dessus du réservoir est réalisée grâce à la pression de pompage capillaire développé par le lien capillaire 3.

Le flux de chaleur  $q_e$  produit un flux de vapeur qui est véhiculé par la ligne vapeur 6 jusqu'au condenseurs 9 et 30. Le flux de chaleur  $q_e$  absorbé aux évaporateurs par vaporisation du liquide caloporteur est cédé aux condenseurs par condensation du flux de vapeur.

La condensation formée sur les parois des condenseurs est véhiculée le long de rainures capillaires 36 jusqu'aux extrémités des condenseurs. Une structure capillaire permet seulement le passage du liquide condensé vers la ligne liquide 33.

De préférence, suivant l'invention, le réservoir 1 est contrôlé thermiquement par une cellule



thermoélectrique (à effet Peltier) 33. Une semelle 34 liant la cellule Peltier à l'évaporateur 2 permet l'apport ou l'extraction d'énergie thermique 35 du réservoir à l'évaporateur. C'est la cellule Peltier 33 qui réalise la différence de température entre le réservoir 1 et la semelle 34 pour diriger l'énergie calorifique dans le sens souhaité. Le contrôle de température du réservoir est ainsi réalisé. La pression dans le réservoir est fonction de la température du réservoir suivant la courbe de saturation du fluide caloporteur et par conséquent, la pression et la température de vaporisation et de condensation dans la boucle est identique à celle du réservoir.

Le réservoir 1 contient une structure capillaire 37 afin de gérer en apesanteur la localisation du liquide caloporteur vis-à-vis de la vapeur ou des gaz non condensables contenus par le réservoir.

Si du gaz non condensable est généré dans la boucle, celui-ci sera collecté par le réservoir 1. Due à la pression partielle de gaz non condensable dans le réservoir, la température de celui-ci devra être maintenue à une température inférieure à celle de vaporisation aux évaporateurs afin de maintenir une égalité des pressions entre le réservoir et le restant de la boucle.

Une cellule thermoélectrique à effet Peltier peut également être appliquée à l'évaporateur auxiliaire afin de refroidir la ligne de fluide par rapport à l'évaporateur auxiliaire. Dans ce cas l'extrémité de la liaison capillaire reliant l'évaporateur auxiliaire à la ligne de fluide est connectée par la cellule à l'évaporateur auxiliaire. Le refroidissement de la ligne de fluide ainsi obtenu permet de condenser la vapeur produite par le flux de chaleur fournit à l'évaporateur auxiliaire et de limiter la taille des bulles de gaz non-condensables. Un accroissement trop important de la taille des bulles de gaz par rapport à la vitesse de circulation du fluide vers le réservoir pourrait provoquer la vidange de la ligne de

fluide vers le condenseur et donc rompre l'alimentation en liquide de l'évaporateur.

REVENDICATIONS

1. Boucle à pompe capillaire de transport de chaleur comprenant au moins un évaporateur, au moins un condenseur et un réservoir agencé pour stocker un fluide caloporteur, ledit évaporateur comprenant une sortie reliée par une ligne de vapeur à une entrée du condenseur, une sortie du condenseur étant reliée au réservoir, ledit évaporateur comprenant un corps évaporateur et étant pourvu d'un matériau poreux agencé pour produire une pression capillaire de pompe à l'intérieure de la boucle et l'exercer sur ledit fluide caloporteur à partir de la surface du matériau en contact avec le corps évaporateur, ledit évaporateur étant également agencé pour faire évaporer le fluide caloporteur par absorption de chaleur, caractérisé en ce que le réservoir et l'évaporateur sont isolés thermiquement l'un de l'autre et reliés entre eux par une conduite comportant une première partie formée par une liaison capillaire agencée pour pomper le fluide caloporteur du réservoir vers le matériau poreux et une deuxième partie agencée pour évacuer des bulles de gaz et/ou de la vapeur formées dans l'évaporateur vers le réservoir, lequel réservoir étant agencé pour être maintenu à une température inférieure à celle de l'évaporateur.

2. Boucle suivant la revendication 1, caractérisée en ce que dans ladite conduite qui relie l'évaporateur au réservoir la première partie comporte au moins un premier canal et la deuxième partie au moins un deuxième canal, le diamètre du premier canal étant inférieur à celui du deuxième canal.

3. Boucle suivant la revendication 1 ou 2, caractérisée en ce que la conduite qui relie l'évaporateur au réservoir se prolonge dans l'axe central de l'évaporateur, ledit matériau poreux de l'évaporateur étant coaxialement disposé par rapport à la conduite.

4. Boucle suivant l'une des revendications 1 à 3, caractérisée en ce que le réservoir est connecté

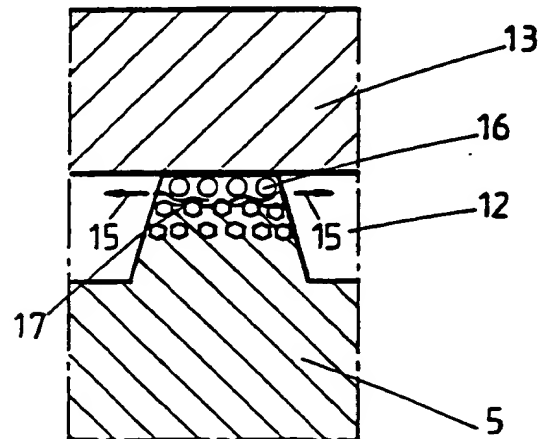
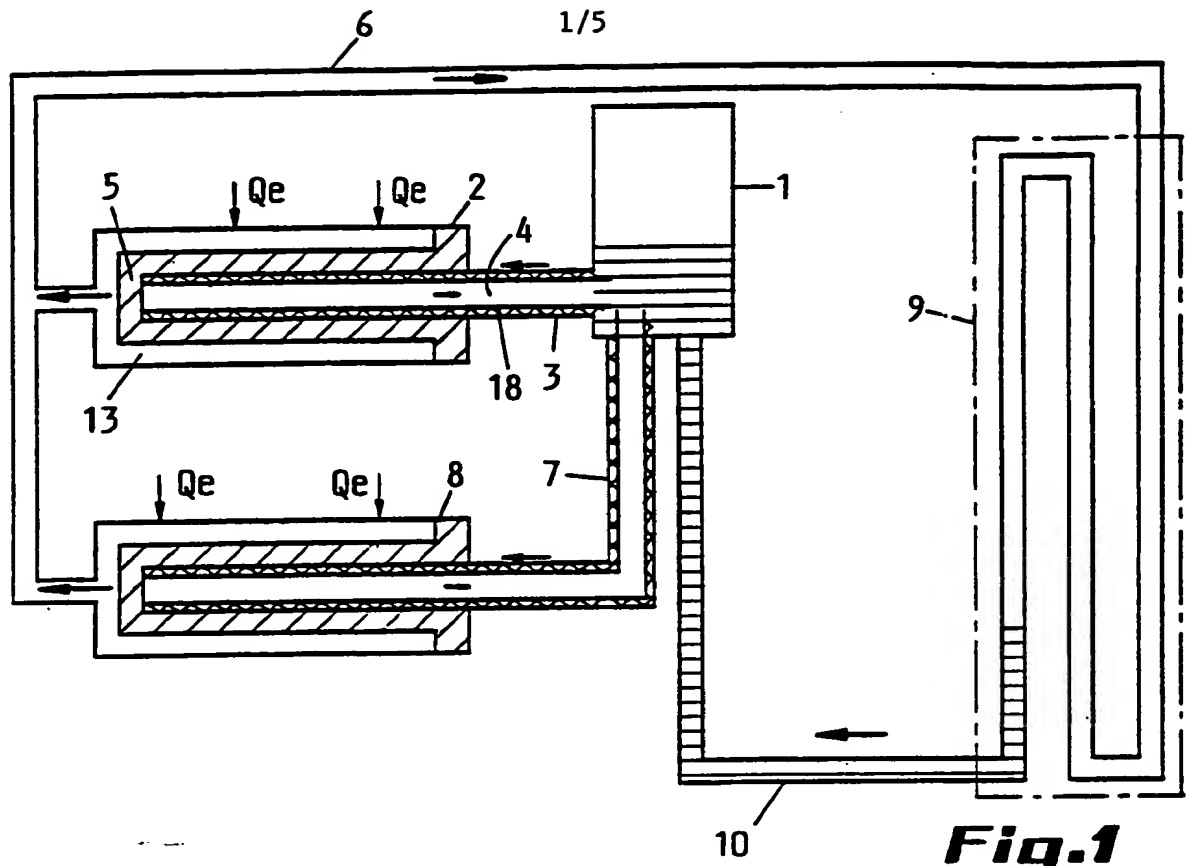
thermiquement à au moins un des évaporateurs par une cellule thermoélectrique à effet Peltier agencée pour régulariser la température du réservoir.

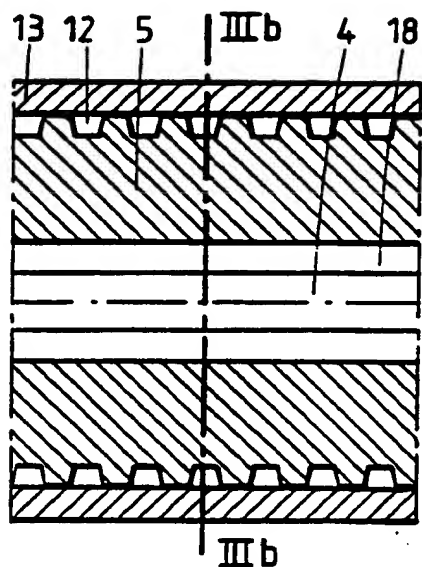
5 5. Boucle suivant l'une des revendications 1 à 4, caractérisée en ce qu'elle comporte un évaporateur auxiliaire relié à une ligne de fluide sortant du condenseur.

10 6. Boucle suivant la revendication 5, caractérisée en ce que ladite ligne de fluide traverse ledit évaporateur auxiliaire.

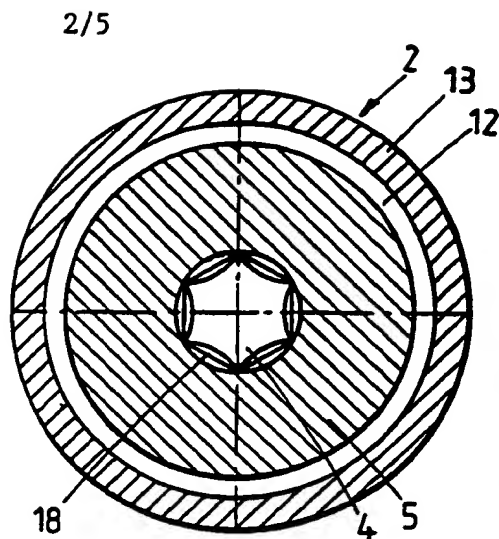
7. Boucle suivant la revendication 5, caractérisée en ce que ledit évaporateur auxiliaire est relié à la ligne de fluide par une liaison capillaire.

15 8. Boucle suivant la revendication 7, caractérisée en ce que l'extrémité de la liaison capillaire en contact avec la ligne de fluide est thermiquement reliée à l'évaporateur auxiliaire par une cellule thermoélectrique à effet Peltier agencée pour refroidir la ligne par rapport à l'évaporateur auxiliaire.

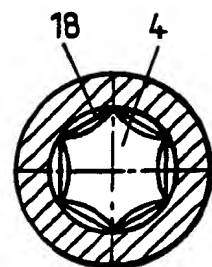




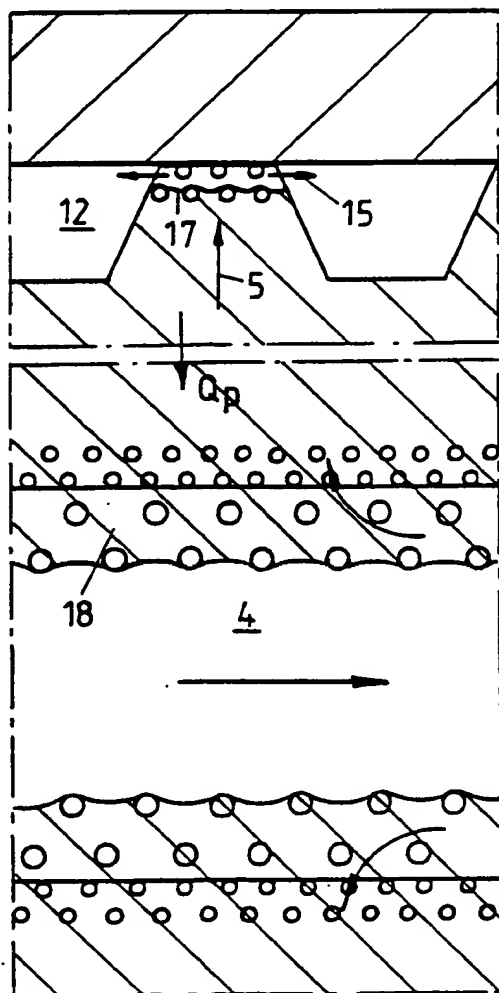
**Fig. 3a**



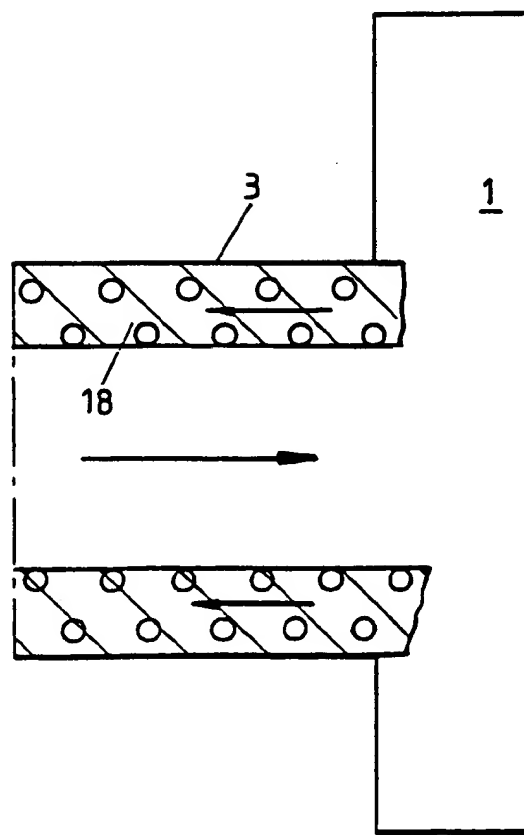
**Fig. 3b**



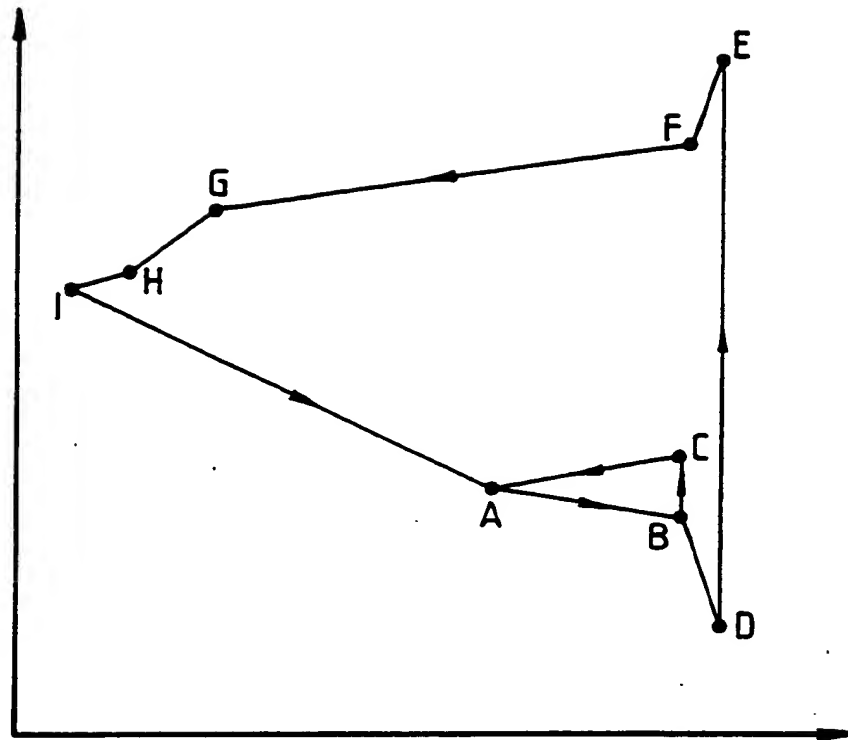
**Fig. 3c**



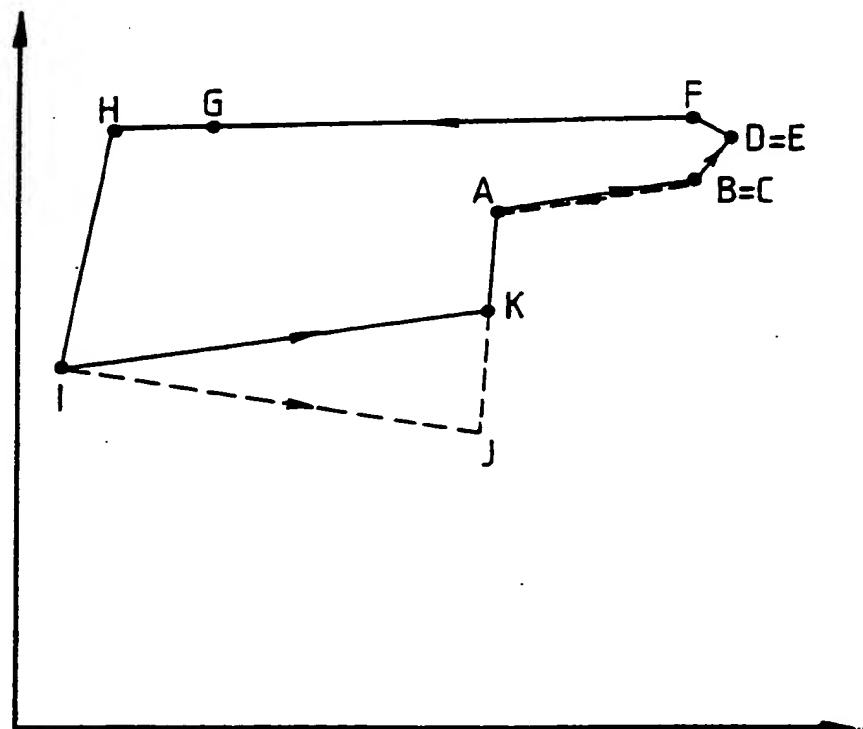
**Fig. 4**



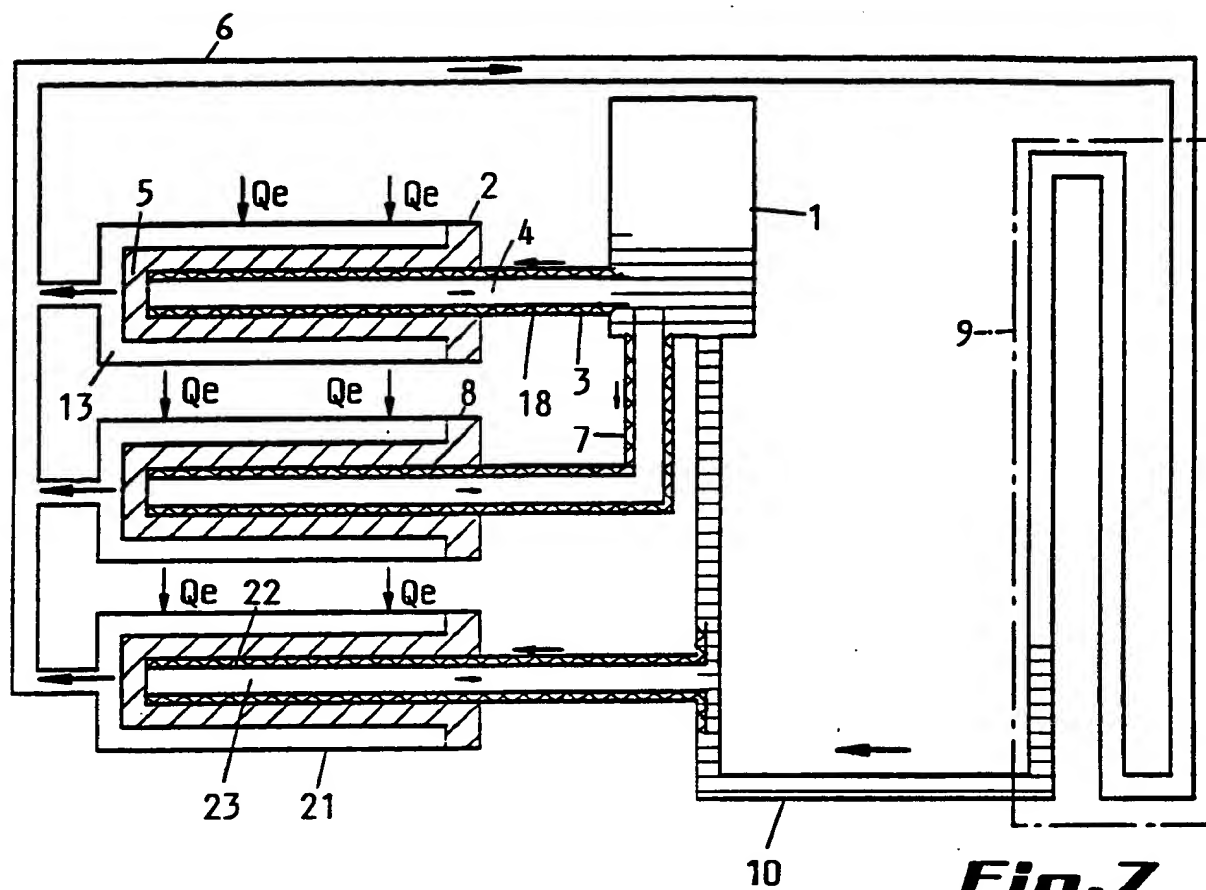
3/5



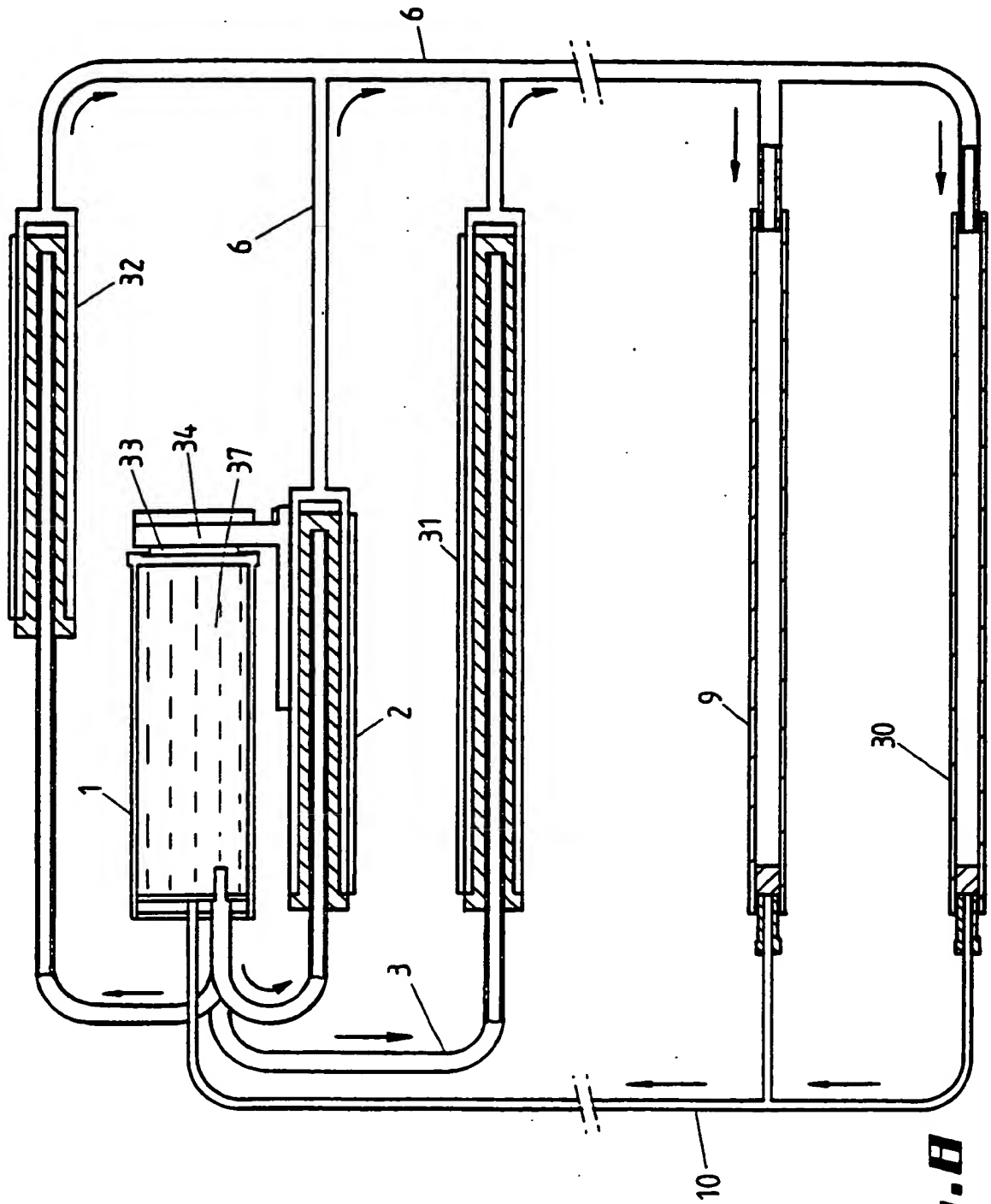
**Fig. 5**



**Fig. 6**







**Fig. 8**

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

In. ational Application No  
PCT/BE 96/00061

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 6 F28D15/04

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 6 F28D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	FR,A,2 216 537 (GAZ DE FRANCE) 30 August 1974 see page 5, line 35 - page 10, line 21; figures 1-3 ---	1
A	GB,A,2 109 916 (COMBUSTION ENGINEERING INC.) 8 June 1983 see page 4, line 71 - page 6, line 50; figure 3 ---	1
A	US,A,4 917 173 (BROWN ET AL) 17 April 1990 see column 1, line 12 - column 1, line 30 see column 5, line 9 - column 6, line 49; figures 1-3 --- -/--	1

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents :

- 'A' document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- 'E' earlier document but published on or after the international filing date
- 'L' document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- 'O' document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- 'P' document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- 'T' later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- 'X' document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- 'Y' document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- '&' document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

2 October 1996

Date of mailing of the international search report

07. 10. 96

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Beltzung, F

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int. Application No  
PCT/BE 96/00061

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>DATABASE WPI Section Ch, Week 8928 Derwent Publications Ltd., London, GB; Class J08, AN 89-204972 XP002014973 &amp; SU,A,1 449 823 (ODESS FOOD IND TECHN) , 7 January 1989 see abstract</p>	1
A	<p>--- US,A,4 336 837 (KOENIG) 29 June 1982 see column 2, line 23 - column 4, line 47; figure 5</p>	1
A	<p>--- US,A,4 554 966 (VASILIEV ET AL) 26 November 1985 see column 11, line 13 - column 14, line 49; figures 11-13</p>	1
A	<p>--- US,A,4 515 209 (MAIDANIK ET AL) 7 May 1985 -----</p>	

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/BE 96/00061

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
FR-A-2216537	30-08-74	CA-A- 994752 DE-A- 2405200 GB-A- 1463164 JP-A- 50006936 NL-A- 7401612 US-A- 3948316	10-08-76 08-08-74 02-02-77 24-01-75 08-08-74 06-04-76
GB-A-2109916	08-06-83	CA-A- 1195187 JP-A- 58085098 US-A- 4516631	15-10-85 21-05-83 14-05-85
US-A-4917173	17-04-90	NONE	
US-A-4336837	29-06-82	NONE	
US-A-4554966	26-11-85	NONE	
US-A-4515209	07-05-85	NONE	

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

De internationale No

PCT/BE 96/00061

## A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

CIB 6 F28D15/04

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

## B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 6 F28D

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)

## C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	FR,A,2 216 537 (GAZ DE FRANCE) 30 Août 1974 voir page 5, ligne 35 - page 10, ligne 21; figures 1-3 ---	1
A	GB,A,2 109 916 (COMBUSTION ENGINEERING INC.) 8 Juin 1983 voir page 4, ligne 71 - page 6, ligne 50; figure 3 ---	1
A	US,A,4 917 173 (BROWN ET AL) 17 Avril 1990 voir colonne 1, ligne 12 - colonne 1, ligne 30 voir colonne 5, ligne 9 - colonne 6, ligne 49; figures 1-3 ---	1
	-/-	

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

\* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

2 Octobre 1996

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

07. 10. 96

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale  
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tél. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax (+ 31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Beltzung, F

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

De de Internationale No  
PCT/BE 96/00061

## C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	<p>DATABASE WPI Section Ch, Week 8928 Derwent Publications Ltd., London, GB; Class J08, AN 89-204972 XP002014973 &amp; SU,A,1 449 823 (ODESS FOOD IND TECHN) , 7 Janvier 1989 voir abrégé</p>	1
A	<p>US,A,4 336 837 (KOENIG) 29 Juin 1982 voir colonne 2, ligne 23 - colonne 4, ligne 47; figure 5</p>	1
A	<p>US,A,4 554 966 (VASILIEV ET AL) 26 Novembre 1985 voir colonne 11, ligne 13 - colonne 14, ligne 49; figures 11-13</p>	1
A	<p>US,A,4 515 209 (MAIDANIK ET AL) 7 Mai 1985</p>	

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

De internationale No

PCT/BE 96/00061

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR-A-2216537	30-08-74	CA-A- 994752	10-08-76
		DE-A- 2405200	08-08-74
		GB-A- 1463164	02-02-77
		JP-A- 50006936	24-01-75
		NL-A- 7401612	08-08-74
		US-A- 3948316	06-04-76
-----			
GB-A-2109916	08-06-83	CA-A- 1195187	15-10-85
		JP-A- 58085098	21-05-83
		US-A- 4516631	14-05-85
-----			
US-A-4917173	17-04-90	AUCUN	
-----			
US-A-4336837	29-06-82	AUCUN	
-----			
US-A-4554966	26-11-85	AUCUN	
-----			
US-A-4515209	07-05-85	AUCUN	
-----			

**This Page Blank (uspto)**